

10/579320

**ACTIONNEUR MULTI-STABLE A BASE D'ALLIAGE A MEMOIRE DE  
FORME, ET INTERFACE TACTILE LE METTANT EN ŒUVRE**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention se rapporte au domaine technique des actionneurs en alliage à mémoire de forme.

Elle vise un actionneur multi-stable à  
10 mémoire de forme, ainsi qu'une interface mettant en œuvre au moins un tel actionneur. Cette interface peut être utilisée pour réaliser une interface tactile.

On rappelle qu'un actionneur est un dispositif qui est capable de générer une force  
15 destinée à provoquer le déplacement d'une pièce mobile.

On rappelle qu'un actionneur multi-stable est un actionneur pour lequel la pièce mobile se déplace entre plusieurs positions correspondant chacune à un état d'équilibre stable de l'actionneur.

20 On rappelle qu'un actionneur bi-stable est un actionneur pour lequel la pièce mobile se déplace entre deux positions correspondant chacune à un état d'équilibre stable de l'actionneur.

On rappelle qu'une interface tactile est un  
25 dispositif permettant de détecter des informations par le toucher.

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Les alliages à mémoire de forme sont des matériaux bien connus dans de nombreux domaines.

On rappelle qu'un alliage à mémoire de forme est capable de transformer une puissance thermique en un travail mécanique. Lorsqu'il est chauffé, il peut restituer des déformations de l'ordre de 6 à 8 % et générer des efforts très importants. Par exemple, un objet en alliage à mémoire de forme est capable de soulever 1000 fois sa masse. Le fonctionnement des alliages à mémoire de forme est basé sur des sollicitations mécaniques et thermiques du matériau. Il existe des alliages à mémoire de forme simple sens et des alliages à mémoire de forme double sens. Leur comportement est le suivant :

- pour un alliage à mémoire de forme simple sens : l'alliage se trouve initialement dans un état stable (état austénite) sous une première forme stable ; puis on lui applique une contrainte à température constante, et il se retrouve déformé (état martensitique) ; si on le chauffe, il se retrouve à nouveau dans l'état austénite, et retrouve alors sa forme initiale qu'il a conservée en mémoire ; un alliage à mémoire de forme simple sens possède donc un seul état stable, à haute température ;

- pour un alliage à mémoire de forme double sens : on « éduque » le matériau, en appliquant un grand nombre de fois un cycle thermique analogue au cycle décrit ci-dessus pour un alliage à mémoire de forme simple sens ; les contraintes externes appliquées sont alors remplacées par des contraintes internes au matériau ; si on chauffe le matériau, il se retrouve dans un premier état stable à haute température (état austénite) dans lequel il présente une première forme

stable mémorisée ; si on refroidit le matériau, il se retrouve dans un deuxième état stable à basse température (état martensite) dans lequel il présente une deuxième forme stable mémorisée ; un alliage à  
5 mémoire de forme double sens possède donc deux états stables, l'un à haute température, c'est-à-dire au-delà d'une température donnée, et l'autre à basse température, c'est-à-dire en deçà de cette température donnée.

10 On connaît, par le document US-6 242 841, un moteur pas à pas mettant en œuvre des dispositifs d'entraînement réalisés en alliage à mémoire de forme, pour entraîner en rotation une pellicule photographique autour d'un moyeu dans un boîtier d'appareil  
15 photographique. Autour du moyeu sont empilés des anneaux. La liaison entre le moyeu et les anneaux est une liaison du type à cliquet, réalisées par des dents d'encliquetage disposées en regard les unes des autres, respectivement sur le moyeu et sur chacun des anneaux,  
20 et dont la forme est telle qu'une rotation des anneaux dans un sens entraîne une rotation correspondante du moyeu, alors qu'une rotation des anneaux en sens inverse n'entraîne pas de rotation du moyeu. Chaque anneau est relié à un dispositif en alliage à mémoire  
25 de forme et à un ressort de rappel. Lorsque les dispositifs en alliage à mémoire de forme sont successivement chauffés, ils se déforment et entraînent en rotation les anneaux, qui entraînent à leur tour le moyeu en rotation. Le déplacement angulaire du moyeu  
30 est la somme des déplacements angulaires successifs des anneaux. Lorsque les dispositifs d'entraînement en

alliage à mémoire de forme ne sont plus chauffés, ils retrouvent leur forme précédente. Les anneaux sont alors ramenés successivement à leur position précédente, par les ressorts de rappel. Il n'y a pas de  
5 déplacement correspondant du moyeu.

On connaît, par le document US-6 326 707, un actionneur comportant une pluralité de tiges disposées parallèlement les unes aux autres, et reliées entre elles par des fils en alliage à mémoire de forme,  
10 de telle manière que chaque fil relie l'extrémité inférieure d'une tige à l'extrémité supérieure de la tige suivante. Lorsque les fils sont chauffés, ils se déforment de manière à provoquer le déplacement des tiges, toutes dans le même sens, de sorte que le  
15 déplacement de la dernière tige correspond aux déplacements cumulés des tiges précédentes. Un ressort de rappel relié à l'extrémité libre de la dernière tige est étiré par le déplacement de celle-ci. Lorsque les  
20 fils en alliage à mémoire de forme sont refroidis, le ressort de rappel ramène la dernière tige en position initiale, et de proche en proche, toutes les tiges retrouvent leur position initiale.

Les actionneurs décrits dans ces deux documents sont affectés d'un inconvénient en ce qu'ils  
25 ne présentent pas de dispositif permettant d'immobiliser dans deux ou plusieurs positions stables la ou les pièce(s) déplacée(s) (anneaux pour le US-6 242 841, et extrémité libre de la dernière tige pour le US-6 326 707). En effet, ils comportent tous  
30 deux des ressorts de rappel, qui ne sont pas réalisés en alliage en mémoire de forme, et qui ramènent la ou

les pièce(s) mobile(s) en position initiale lorsque l'on cesse de chauffer l'élément ou les éléments en alliage à mémoire de forme (dispositifs d'entraînement pour le US-6 242 841 et fils pour le US-6 326 707).

5 Pour immobiliser la ou les pièce(s) mobile(s), il serait nécessaire de maintenir chauffés les éléments en alliage à mémoire de forme. Or les alliages à mémoire de forme ont une faible conductivité thermique (comparée à celle du cuivre). Par conséquent, la

10 puissance dissipée est importante. En conséquence, leur rendement est très faible, de l'ordre de quelques pourcents, typiquement de 2 à 4 %. On rappelle que le rendement d'un actionneur est défini comme étant le rapport du travail mécanique effectué par l'actionneur

15 sur la puissance électrique fournie à l'actionneur.

Le document "Micro-actuation principles for high-resolution graphic tactile display", B. Brenner, S. Mitic, A. Vujanic, G. Popovic, in Proceedings of Eurohaptics, 2001, p. 55-58 décrit une pluralité

20 d'actionneurs bistables agencés sous forme d'une matrice comportant des rangées d'actionneurs, et destinée à être mise en œuvre dans un écran tactile graphique. Chaque actionneur combine un fil en alliage à mémoire de forme et un ressort dont l'action est

25 antagoniste à celle du fil. Dans une position correspondant à un état initial, le fil en alliage à mémoire de forme est chauffé, ce qui provoque la rétraction du ressort, qui à son tour entraîne le basculement d'une lame agissant comme moyen de

30 maintien. Dans une telle matrice d'actionneurs, chaque actionneur bistable est actif individuellement, mais un

seul moyen de commande collectif écarte toutes les lames d'une même rangée, afin que chaque actionneur retrouve sa position initiale dans l'action de son ressort antagoniste. Ce document ne décrit pas  
5 d'actionneur multistable.

### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but d'apporter une solution aux inconvénients des actionneurs de l'art antérieur qui mettent en œuvre un ou plusieurs  
10 élément(s) en alliage à mémoire de forme, tels que ceux décrits ci-dessus. Ce but est atteint par un actionneur bi-stable ou multi-stable à base d'alliage à mémoire de forme.

Selon un premier aspect, l'invention  
15 concerne un actionneur bi-stable ou multi-stable, comportant :

- une pièce mobile destinée à être déplacée entre au moins deux positions stables,
- des moyens de déplacement de la pièce  
20 mobile,
- des moyens de guidage du déplacement de la pièce mobile, et
- des moyens de maintien de la pièce mobile dans chacune des positions stables qu'elle occupe,
- 25 les moyens de déplacement étant deux moyens de déplacement antagonistes, agissant de part et d'autre de la pièce mobile, et réalisés chacun en un alliage à mémoire de forme.

Les deux moyens de déplacement peuvent être  
30 réalisés dans le même alliage à mémoire de forme, ou dans des alliages à mémoire de forme différents.

On peut utiliser comme alliage à mémoire de forme des alliages à base de titane ou à base de cuivre ou à base de fer, comme par exemple le Ni-Ti, ou le Ni-Ti-Cu, ou le Cu-Al-Ni, ou le Cu-Al-Be, ou le Fe-Pt, 5 ou le Fe-Rd, ou le Fe-Ni-Co-Ti.

De préférence, les deux moyens de déplacement sont réalisés en alliage à mémoire de forme simple sens. Ils peuvent être réunis en un seul moyen de déplacement à effet double sens.

10 L'actionneur de l'invention peut être un actionneur à déplacement rotatif, ou un actionneur à déplacement linéaire.

De préférence, les moyens de guidage et les moyens de maintien constituent un mécanisme pas à pas 15 intégré.

Selon un premier mode de réalisation, les moyens de guidage comprennent au moins un palier à glissement et les moyens de maintien comprennent des contacts de type partie en saillie/partie en creux. De 20 préférence, les parties en saillie sont des demi-sphères ou des demi-cylindres, et les parties en creux sont des cônes ou des gorges.

Selon un deuxième mode de réalisation, les moyens de guidage comprennent une pluralité de poutres 25 élastiques et les moyens de maintien comprennent des contacts de type partie en saillie/partie en creux. De préférence, les parties en saillie sont des lames flexibles et les parties en creux sont des fentes.

Selon un troisième mode de réalisation, les 30 moyens de guidage et les moyens de maintien sont précontraints et confondus. La stabilité est alors

obtenue dans deux positions à travers le flambage de ces moyens de guidage et de maintien.

Selon une variante commune aux trois modes de réalisation, certains au moins des éléments parmi la  
5 pièce mobile, les moyens de déplacement, les moyens de guidage, et les moyens de maintien sont des éléments distincts assemblés entre eux.

Selon une autre variante, préférée, commune aux trois modes de réalisation, la pièce mobile, les  
10 moyens de déplacement, les moyens de guidage, et les moyens de maintien sont réalisés sous la forme d'une structure monolithique en alliage à mémoire de forme, dont au moins les moyens de déplacement ont subi un traitement qui leur confère des propriétés de mémoire  
15 de forme.

La structure monolithique est réalisée à partir d'une pièce plane ou relativement mince en alliage à mémoire de forme, par exemple par un procédé de découpe.

20 L'actionneur bi-stable ou multi-stable selon l'invention présente un avantage certain par rapport aux actionneurs de l'art antérieur qui ont été décrits. En effet, avec l'actionneur de l'invention, on chauffe l'un des moyens de déplacement en alliage à  
25 mémoire de forme, ce qui provoque le déplacement de la pièce mobile d'une première position stable jusqu'à une deuxième position stable. La pièce mobile peut alors rester dans cette deuxième position stable, grâce aux moyens de maintien, de sorte qu'on peut arrêter de  
30 chauffer le moyen de déplacement en alliage à mémoire de forme. Ensuite, pour déplacer à nouveau la pièce



mobile vers une autre position stable (la première position stable pour un actionneur bi-stable ou une troisième position stable pour un actionneur multi-stable), on chauffe l'un ou l'autre des moyens de déplacement. Puis on peut cesser de le chauffer une fois que la pièce mobile a atteint cette autre position stable.

On voit qu'ainsi il n'est nécessaire de chauffer le moyen de déplacement en alliage à mémoire de forme que pendant les phases transitoires de déplacement de la pièce mobile entre deux positions stables. Du fait que l'on cesse de chauffer le moyen de déplacement en alliage à mémoire de forme lorsque la pièce mobile se trouve dans une position stable, immobilisée grâce aux moyens de maintien, le rendement global de l'actionneur se trouve augmenté. Il en résulte une réduction des coûts d'exploitation de l'actionneur, car la présence de capteurs de position n'est plus nécessaire.

Selon un deuxième aspect, l'actionneur selon le premier aspect peut être appliqué à des appareils particuliers, comme par exemple à une interface qui comporte un ou plusieurs actionneurs multi-stables selon le premier aspect, et au sein de laquelle les actionneurs reçoivent une commande et produisent un déplacement d'une pièce mobile. Une telle interface peut être utilisée dans une interface tactile, dans laquelle le déplacement des pièces mobiles est détecté au toucher.

Selon une variante, elle comprend, en outre, des moyens de chauffage pour chauffer les moyens

de déplacement en alliage à mémoire de forme. Ces moyens de chauffage peuvent comprendre des résistances chauffantes ou un rayonnement laser. De préférence, les moyens de chauffage comprennent des éléments à effet Joule reliés aux éléments à mémoire de forme.

#### **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre de modes de réalisation particuliers de l'invention, fournis à titre illustratif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1A représente, en vue de face, un actionneur selon le premier mode de réalisation ;
- la figure 1B représente, en vue de face, une variante partielle de mise en oeuvre de l'actionneur de la figure 1A ;
- la figure 2 est analogue à la figure 1, pour un actionneur selon le deuxième mode de réalisation ;
- la figure 3 représente, en perspective, une interface comportant une pluralité d'actionneurs selon le deuxième mode de réalisation et une première variante de réalisation des moyens de chauffage ;
- la figure 4 représente, en vue de face, un actionneur selon le troisième mode de réalisation, la pièce mobile étant dans une première position stable ;
- la figure 5 est analogue à la figure 4, la pièce mobile étant dans une autre position stable ;

- la figure 6 est une vue analogue à la figure 3, qui représente, en perspective, une deuxième variante de réalisation des moyens de chauffage.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

5                   En se référant tout d'abord à la figure 1A, on a représenté un actionneur 10 en alliage à mémoire de forme selon une première variante du premier mode de réalisation du premier aspect de l'invention.

                  L'actionneur 10 comporte une pièce mobile  
10 12 et deux moyens de déplacement 14, 16 de la pièce mobile 12 par rapport à une pièce de référence 18, le long d'une trajectoire rectiligne. La pièce de référence 18 est fixe. Les deux moyens de déplacement sont reliés à la pièce mobile 12 de part et d'autre de  
15 celle-ci, et agissent de manière antagoniste, c'est-à-dire que l'un des moyens de déplacement 14, 16 déplace la pièce mobile 12 dans un sens, et l'autre des moyens de déplacement 14, 16 déplace la pièce mobile 12 dans l'autre sens. Sur l'exemple illustré, les moyens de  
20 déplacement 14, 16 se présentent sous la forme de deux ressorts capables de se détendre et de se contracter selon la direction du déplacement de la pièce mobile 12. Ils sont reliés par une de leurs extrémités 142, respectivement 162, à la pièce mobile 12. Ils sont  
25 reliés par l'autre de leurs extrémités 144, respectivement 164, à la pièce de référence 18 de l'actionneur 10, comme par exemple à une base 182 ou à une partie de fixation 184 apte à être fixée sur la pièce de référence 18 ou sur une pièce intermédiaire  
30 fixe faisant partie de l'environnement (non représenté) de l'actionneur 10. Sur l'exemple illustré, la partie

de fixation 184 comporte un trou de fixation 80 pour une fixation par vissage au moyen d'une vis (non représentée) ou par tout autre procédé équivalent. Cette fixation permet de déformer ou de précontraindre  
5 les deux ressorts en alliage à mémoire de forme.

Selon la première variante du premier mode de réalisation illustré à la figure 1A, les moyens de guidage 122, 186 du déplacement de la pièce mobile 12 entre au moins deux positions stables se présentent  
10 sous la forme d'un palier à glissement. La pièce mobile 12 comporte une zone de glissement 122 et la pièce de référence 18 comporte une zone de glissement 186 qui coulissent l'une contre l'autre de sorte que le déplacement de la zone de glissement 122 de la pièce  
15 mobile soit guidé le long de ladite zone de glissement 186 de la pièce de référence 18. Dans l'exemple illustré, les zones de glissement respectives 122, 186 et leur géométrie autorisent un déplacement de la pièce mobile 12 suivant une direction rectiligne.  
20 L'actionneur 10 illustré à la figure 1A est un actionneur à déplacement linéaire.

Toujours selon la première variante du premier mode de réalisation illustré à la figure 1A, les moyens de maintien 20, 22 de la pièce mobile 12  
25 dans chacune des positions stables se présentent sous la forme de contacts de type partie en saillie/partie en creux. La pièce mobile 12 est munie, le long de sa zone de glissement 122, d'au moins deux parties en saillie 20 ayant une forme hémisphérique. La pièce de  
30 référence 18 est munie, le long de sa zone de glissement 186, d'au moins deux parties en creux 22.

Les parties en saillies 20 et parties en creux 22 sont alignées, respectivement, suivant la direction du déplacement. Sur l'exemple illustré, la distance entre deux parties en creux 22 successives est inférieure à la distance entre deux parties en saillie 20 successives. Elle pourrait lui être égale ou supérieure, en fonction du déplacement souhaité pour la pièce mobile 12.

Ainsi, à la suite d'un déplacement provoqué par la détente ou la contraction des ressorts 14, 16, la pièce mobile 12 occupe des positions successives qui correspondent chacune à une mise en coïncidence de l'une des parties en saillie (demi-cylindre ou demi-sphère) 20 avec l'une des parties en creux (gorge ou cône) 22, et elle est maintenue dans chacune desdites positions de mise en coïncidence jusqu'à un déplacement ultérieur.

Sur l'exemple illustré à la figure 1A, les parties en saillie 20 se trouvent sur une partie allongée 126 de la pièce mobile 12, prolongeant un corps 125 de celle-ci, et les parties en creux 22 se trouvent sur la pièce de référence 18. On pourrait envisager une configuration inversée. Pour un actionneur bi-stable, les contacts 20, 22 sont de préférence au nombre de deux. Pour un actionneur multi-stable, le nombre des contacts 20, 22 est supérieur à deux.

En outre, l'actionneur peut comporter des moyens permettant d'assurer un contact permanent entre la pièce de référence 18 et la pièce mobile 12. Ceux-ci peuvent comporter un évidement ou un amincissement 181

de la base de la pièce de référence 18, par enlèvement de matière interne ou externe, ce qui permet à la pièce de référence 18 de pivoter légèrement sous l'action du déplacement de la pièce mobile 12. On assure ainsi un  
5 contact permanent entre la pièce de référence 18 et la pièce mobile 12 suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement de la pièce mobile 12.

En se référant à la figure 1B, on a  
10 représenté une variante de mise en œuvre d'une partie de l'actionneur selon le premier mode de réalisation. De manière analogue à la première variante illustrée sur la figure 1A, le corps 125 de la pièce mobile 12 est aligné d'un côté avec un premier moyen de  
15 déplacement 14, et du côté opposé avec un deuxième moyen de déplacement 16 antagoniste au premier moyen de déplacement 14. Sur la figure 1B, les mêmes références désignent les mêmes éléments constitutifs que sur la figure 1A.

20 Au contraire de la première variante illustrée sur la figure 1A dans laquelle le corps 125 de la pièce mobile se présente sous la forme d'un bloc, selon cette variante de la figure 1B le corps 125 de la pièce mobile 12 comporte une pluralité de fentes 127.  
25 Celles-ci sont disposées en étant sensiblement parallèles les unes aux autres, et suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement de la pièce mobile 12. Lorsqu'elles ont vues en coupe sur la figure 1B, ces fentes 127  
30 s'ouvrent de façon alternées sur deux faces sensiblement opposées et parallèles entre elles. La

présence de ces fentes 127 permet d'améliorer l'isolation thermique entre les deux moyens de déplacement 14, 16 en alliage à mémoire de forme qui sont chauffés, comme cela sera décrit par la suite.

- 5 Mais ces fentes sont suffisamment fines pour ne pas pousser le corps 125 de la pièce mobile 12 à se déformer sous l'action des moyens de déplacement 14, 16.

- Toujours selon cette deuxième variante  
10 illustrée à la figure 1B, les moyens de déplacement 14, 16 sont des ressorts qui se présentent également sous la forme de blocs dans lesquels sont ménagées des fentes 147, 167, qui sont disposées en étant sensiblement parallèles les unes aux autres et suivant  
15 une direction sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement de la pièce mobile 12, et qui s'ouvrent, en coupe, de façon alternées sur deux faces sensiblement opposées et parallèles entre elles. Les fentes 147, 167 sont suffisamment larges et proches les  
20 unes des autres pour conférer aux ressorts 14, 16 la déformation élastique nécessaire.

- En se référant maintenant à la figure 2, on a représenté un actionneur 10 en alliage à mémoire de forme selon le deuxième mode de réalisation du premier  
25 aspect de l'invention, qui diffère de l'actionneur 10 selon le premier mode de réalisation par ses moyens de guidage et par ses moyens de maintien. Ses autres caractéristiques sont similaires à celles de l'actionneur selon la première variante du premier mode  
30 de réalisation, déjà décrites, leur description ne sera donc pas répétée.

Selon le deuxième mode de réalisation, les moyens de guidage 24 comprennent une pluralité de poutres élastiques 24. Celles-ci sont disposées de manière à être sensiblement parallèles les unes aux autres suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement de la pièce mobile 12 lorsqu'elles sont au repos.

Elles sont reliées par une de leurs extrémités 242 à la pièce mobile 12, et par l'autre de leurs extrémités 244 à la pièce de référence 18 de l'actionneur 10. Les deux liaisons d'extrémité des poutres élastiques 24 sont de type encastré.

Selon une première variante du deuxième mode de réalisation illustrée à la figure 2, les poutres élastiques 24 sont au nombre de deux et sont disposées toutes les deux d'un même côté de la pièce mobile 12. Elles relient une zone de liaison 124 de la pièce mobile à une zone de liaison 188 de la pièce de référence 18, les zones de liaison 124, 188 étant sensiblement parallèles l'une à l'autre. Ainsi, l'ensemble formé par les deux poutres élastiques 24, la zone de liaison 124 de la pièce mobile 12 et la zone de liaison 188 de la pièce de référence 18 constitue un système articulé plan de type quatre barres ou de type parallélogramme, de sorte que les poutres élastiques 24 et les zones de liaison respectives 124, 188 ainsi disposées autorisent un déplacement de la pièce mobile 12 suivant une direction rectiligne. L'actionneur 10 illustré à la figure 2 est un actionneur à déplacement linéaire.



Toujours selon la première variante du deuxième mode de réalisation, les moyens de maintien 28, 30 se présentent sous la forme de contacts partie en saillie/partie en creux. La pièce mobile 12 est munie de parties en creux 28 qui coopèrent avec des parties en saillie 30 solidaires de la pièce de référence 18 ou d'une pièce intermédiaire fixe de son environnement, pour maintenir en position la pièce mobile 12.

Sur l'exemple illustré à la figure 2, les parties en creux 28 sont situées sur une partie allongée 126 de la pièce mobile 12 qui est située dans un prolongement de la zone de liaison 124 et dont la direction est sensiblement parallèle à la direction du déplacement de la pièce mobile 12. Elles sont disposées par paires, de telle sorte que les deux parties en creux 28 d'une même paire sont situées sur deux faces opposées de la partie allongée 126. De plus, deux parties en creux 28 adjacentes sur une même face de la partie allongée 126 sont séparées par des parties en relief 32. La distance entre deux parties en creux 28 est choisie en fonction du déplacement souhaité pour la pièce mobile 12. Sur l'exemple illustré, les parties en creux 28 se présentent sensiblement sous la forme de fentes, et les parties en relief 32 se présentent sensiblement sous la forme de demi-sphères. On pourrait envisager des parties en relief 30 ayant tout autre contour convexe. De préférence, les parties en saillie 30 se présentent sous la forme de lames flexibles 30, fixées par une de leurs extrémités à la pièce de référence 18 ou à une pièce intermédiaire fixe de son

environnement, leur autre extrémité restant libre. Elles se présentent par paires, et sont disposées de telle sorte que leurs extrémités libres se font face en laissant entre elles un écartement donné. Cet  
5 écartement est destiné à laisser coulisser entre les lames flexibles 30 la partie allongée 126 de la pièce mobile, dont le déplacement provoque la flexion des deux lames flexibles 30.

Ainsi, à la suite d'un déplacement provoqué  
10 par la détente ou la contraction des ressorts 14, 16, la pièce mobile 12 occupe des positions successives qui correspondent chacune à une mise en coïncidence de deux parties en creux (fentes) 28 situées à un même niveau, respectivement sur deux faces opposées de la partie  
15 allongée 126, avec les extrémités libres des deux lames flexibles 30, et elle est maintenue dans chacune des positions de mise en coïncidence jusqu'à un déplacement ultérieur.

Pour un actionneur bi-stable, les contacts  
20 28, 30 sont de préférence au nombre de deux. Pour un actionneur multi-stable, le nombre des contacts 28, 30 est supérieur à deux.

Selon une deuxième variante du deuxième mode de réalisation, non représentée, les poutres  
25 élastiques 24 sont présentes en nombre supérieur à deux et sont disposées de part et d'autre de la pièce mobile.

En se référant maintenant aux figures 4 et  
5, on a représenté un actionneur 10 en alliage à  
30 mémoire de forme selon le troisième mode de réalisation du premier aspect de l'invention, qui diffère de

l'actionneur 10 selon le deuxième mode de réalisation par ses moyens de guidage et par ses moyens de maintien. Ses autres caractéristiques sont similaires à celles de l'actionneur selon le deuxième mode de réalisation, déjà décrites, leur description ne sera  
5 donc pas répétée.

Selon le troisième mode de réalisation, les moyens de guidage comprennent une pluralité de poutres élastiques 246, 247, 248, 249, disposées de manière à  
10 être sensiblement parallèles les unes aux autres suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la direction de déplacement de la pièce mobile 12 lorsqu'elles sont au repos.

Les poutres élastiques sont reliées par une  
15 de leurs extrémités à la pièce mobile 12, et par l'autre de leurs extrémités à la pièce de référence 18 de l'actionneur 10. Les deux liaisons d'extrémité des poutres élastiques 246, 247, 248, 249 sont de type encastré. Selon ce mode de réalisation, la pièce de  
20 référence 18 est fixe.

Les poutres élastiques 246, 247, 248, 249 sont regroupées en une première paire 246, 247, disposée d'un premier côté de la pièce mobile 12, et en une deuxième paire 248, 249, disposée d'un deuxième  
25 côté de celle-ci. La première paire 246, 247 relie une première zone de liaison 124 de la pièce mobile 12 à une première zone de liaison 188 de la pièce de référence 18, tandis que la deuxième paire 248, 249 relie une deuxième zone de liaison 128 de ladite pièce  
30 mobile 12 à une deuxième zone de liaison 190 de ladite pièce de référence 18. Les zones de liaison 124, 188,

128, 190 sont sensiblement parallèles les unes aux autres.

Ainsi, l'ensemble formé par les deux poutres élastiques 246, 247 de la première paire, la  
5 première zone de liaison 124 de la pièce mobile 12 et la première zone de liaison 188 de la pièce de référence 18 constitue un premier système articulé plan de type quatre barres ou de type parallélogramme. De même, l'ensemble formé par les deux poutres élastiques  
10 248, 249 de la deuxième paire, la deuxième zone de liaison 128 de la pièce mobile 12 et la deuxième zone de liaison 190 de la pièce de référence 18 constitue un deuxième système articulé plan de type quatre barres ou de type parallélogramme.

15 Il en résulte que les poutres élastiques 246, 247, 248, 249 et les zones de liaison respectives 124, 188, 128, 190 ainsi disposées autorisent un déplacement de la pièce mobile 12 suivant une direction rectiligne. L'actionneur 10 illustré aux figures 6 et 7  
20 est un actionneur à déplacement linéaire.

Du fait que les extrémités des poutres 246, 247, 248, 249 sont encastrées dans la pièce de référence 18, qui est fixe, le flambage des quatre poutres 246, 247, 248, 249 précontraintes permet le  
25 déplacement de la pièce mobile 12, entre deux positions. L'actionneur 10 est, pour ce troisième mode de réalisation, un actionneur bi-stable.

Les moyens de guidage 246, 247, 248, 249 de la pièce mobile 12 servent également de moyens de  
30 maintien pour cette pièce mobile 12. Il n'est donc pas nécessaire, pour ce troisième mode de réalisation, de

disposer de moyens de maintien supplémentaires comme les contacts partie en saillie /partie en creux du premier et du deuxième mode de réalisation de l'actionneur selon l'invention.

5 Sur l'exemple illustré aux figures 4 et 5, les deux systèmes articulés de type parallélogramme 246, 247, 124, 188 et 248, 249, 128, 190 se trouvent sensiblement tous les deux dans un même plan. De manière fonctionnellement équivalente, ils pourraient  
10 se trouver dans deux plans différents faisant entre eux un angle donné. On pourrait également envisager un nombre supérieur à deux de paires de poutres et de zones de liaison correspondantes, on aurait ainsi un nombre supérieur à deux de systèmes articulés plans de  
15 type parallélogramme.

On va maintenant décrire le fonctionnement d'un actionneur selon l'invention, en se référant aux figures 4 et 5. L'actionneur 10 illustré est celui du troisième mode de réalisation, mais son fonctionnement  
20 est similaire à celui des autres modes et variantes de réalisation de l'actionneur selon l'invention.

La figure 4 correspond à une configuration de l'actionneur dans laquelle la pièce mobile 12 est en position basse. Les moyens de déplacement, c'est-à-dire  
25 les ressorts à spires 14, 16, sont sollicités : le ressort 14 est contracté, tandis que le ressort 16 est détendu. Les moyens de guidage et de maintien, 246, 247, 248, 249 sont également sollicités, en flambage.

On chauffe l'un des moyens de déplacement  
30 en alliage à mémoire de forme, qui retrouve son autre forme mémorisée : le ressort supérieur 16 sur la figure

5 se contracte. Il déforme en même temps l'autre moyen de déplacement antagoniste : le ressort inférieur 14 sur la figure 5 se détend. Or les deux ressorts 14, 16 sont alignés et sont disposés de part et d'autre d'une  
5 partie de la pièce mobile 12. De plus, ils ont chacun une extrémité 144, 164 fixée à une base 182 de la pièce de référence 18 et l'autre extrémité fixée à la pièce mobile 12. Par conséquent, les mouvements combinés de contraction de l'un des ressorts 16 et de détente de  
10 l'autre ressort 14 déplacent la partie de la pièce mobile 12 se trouvant entre eux, et donc déplacent la pièce mobile 12 toute entière : celle-ci est déplacée vers le haut sur la figure 5. Chacune des poutres flexibles 246, 247, 248, 249 est encastrée à ses deux  
15 extrémités, respectivement dans la pièce de référence 18 et dans la pièce mobile 12. Par conséquent, elle se déforme par flambage pour accompagner le déplacement de la pièce mobile 12 par rapport à la pièce de référence 18.

20 Si on cesse de chauffer le moyen de déplacement 16, la pièce mobile reste dans la position dans laquelle elle a été déplacée, et elle est maintenue dans cette position par l'action combinée des poutres flexibles 246, 247, 248, 249.

25 Pour déplacer la pièce mobile 12 en sens inverse, on chauffe le deuxième moyen de déplacement qui a été contraint, pour qu'il retrouve sa forme initiale.

30 Les ressorts peuvent être en alliage à mémoire de forme simple sens ou en alliage à mémoire de forme double sens. En particulier, il est possible de

réunir deux ressorts à mémoire de forme simple sens pour former un ressort à mémoire de forme double sens.

Les actionneurs 10 qui viennent d'être décrits en référence aux figures 1A, 1B, 2, 4, 5 sont réalisés d'un seul tenant par découpe à partir d'une structure monolithique en alliage à mémoire de forme.

Une telle réalisation à partir d'une structure monolithique présente un certain nombre d'intérêts. En effet, la fabrication de l'actionneur est aisée. Il suffit pour cela de mettre en œuvre un procédé de découpe pour obtenir rapidement et à moindre coût des actionneurs ayant des formes et des dimensions très précisément déterminées. Les procédés de découpe peuvent comprendre la découpe au laser ou la découpe au jet d'eau ou l'électroérosion ou l'électrolithographie, ou encore le dépôt par pulvérisation cathodique d'alliage à mémoire de forme. De même, et comme cela va être décrit ci-dessous, il est possible de fabriquer de cette manière un ensemble d'actionneurs en série dans une même structure volumique initiale. Parmi les éléments constitutifs de ces actionneurs, au moins les moyens de déplacement antagonistes 14, 16 ont reçu un traitement leur conférant des propriétés de mémoire de forme simple sens.

En se référant enfin aux figures 3 et 6, on a représenté une interface 100 selon le deuxième aspect de l'invention comportant une pluralité d'actionneurs 10 selon le premier aspect de l'invention.

Les actionneurs 10 représentés correspondent à la première variante du deuxième mode de réalisation, mais on pourrait envisager une

interface comportant des actionneurs 10 selon d'autres modes et variantes de réalisation conformes au premier aspect de l'invention.

En se référant à la figure 3, l'interface  
5 100 comporte une pluralité de plaques, parmi lesquelles des premières plaques 110, des deuxièmes plaques 112, et des troisièmes plaques 114.

Les premières plaques 110 sont des plaques en alliage à mémoire de forme dans lesquelles sont  
10 découpés, par exemple par un procédé de découpe tel que décrit ci-dessus, des actionneurs 10 tels que ceux qui ont été décrits précédemment, de telle manière que les actionneurs 10 se trouvent disposés côte à côte le long chacune des premières plaques 110.

15 Les deuxièmes plaques 112 sont des plaques en matériau thermiquement isolant, comme par exemple du PVC, dans lesquelles sont répartis régulièrement des moyens de chauffage constitués dans cet exemple par des résistances chauffantes 200.

20 Les troisièmes plaques 114 sont des plaques de séparation réalisées en matériau thermiquement isolant, comme par exemple du PVC, qui servent à maintenir une distance uniforme entre les actionneurs respectifs de deux premières plaques 110 voisines.

25 Les premières plaques 110, deuxièmes plaques 112 et troisièmes plaques 114 sont disposées de manière jointive dans cet ordre et de façon répétée, de telle manière que les résistances chauffantes 200 des deuxièmes plaques 112 se trouvent en regard des moyens  
30 de déplacement 14, 16 des actionneurs 10 des premières plaques 110. Sur l'exemple illustré, les parties de



fixation 184 des actionneurs 10 sont fixées sur les deuxièmes plaques 112 par des moyens de fixation appropriés à travers les trous de fixation 80.

Une plaque mince ou feuille en matériau flexible 130 recouvre l'ensemble des tranches des premières, deuxièmes et troisièmes plaques 110, 112, 114 ainsi assemblées de manière jointive. Dans la feuille 130 sont découpés des trous 140 à intervalles réguliers selon deux directions 160, 170 sensiblement perpendiculaires de ladite feuille 130, de manière à former un motif de matrice. Les trous 140 sont disposés de telle sorte qu'ils se trouvent au-dessus des extrémités libres 150 des parties allongées 126 des pièces mobiles 12 des actionneurs 10.

Sur l'exemple de la figure 3, les trous 140 présentent un contour qui présente en vue de dessus une forme de H, et qui définit deux languettes disposées en regard l'une de l'autre, dont les extrémités libres se font face. Ces languettes constituent des lames flexibles 30 qui sont solidaires de la feuille 130 qui est considérée comme une pièce intermédiaire fixe faisant partie de l'environnement des actionneurs 10. Ces lames flexibles 30 ont une fonction de moyens de maintien pour les actionneurs 10 selon le deuxième mode de réalisation qui sont découpés dans les premières plaques 110.

On pourrait envisager une feuille 130 dans laquelle sont découpés des trous 140 présentant des contours réguliers, par exemple circulaires ou quadrangulaires. Une telle feuille 130 est plus appropriée pour des premières plaques 110 ayant des

actionneurs 10 selon le premier mode de réalisation, pour lequel les moyens de maintien ne se trouvent pas vers l'extrémité libre 150 de la partie allongée 126 de la pièce mobile 12.

5                   Lorsque des moyens de chauffage sont des résistances chauffantes 200, comme sur l'exemple illustré à la figure 3, l'interface comprend, en outre, des moyens d'alimentation électrique (non représentés) pour acheminer du courant électrique vers lesdites  
10 résistances chauffantes.

La figure 6 est une figure analogue à la figure 3, qui représente une interface 100 selon le second aspect de l'invention, et qui illustre une variante de réalisation, préférée, des moyens de  
15 chauffage. Pour simplifier la compréhension de la figure, la feuille 130 a été omise. Seules seront décrites les différences de cette interface avec l'interface déjà décrite en référence à la figure 3. L'interface 100 comporte une pluralité de plaques 110,  
20 en alliage à mémoire de forme. Ces plaques sont des plaques en alliage à mémoire de forme, parallèles entre elles et dans lesquelles sont découpés des actionneurs 10 disposés les uns à côté des autres.

La pièce de référence 18 comporte ici une  
25 partie basse 185 et une partie haute 187, qui sont toutes deux munies d'un trou de fixation 80.

Les plaques 110 sont disposées parallèlement les unes aux autres sans plaques 112, 116 intermédiaires. Les actionneurs 10, alignés entre eux  
30 sur les plaques 110 parallèles, sont reliés les uns aux autres au moyen de premières tiges liaison 215 qui

traversent tous les trous de fixation 80 de toutes les parties basses 185 pour une même ligne d'actionneurs 10, et au moyen de deuxièmes tiges de liaison 217 qui traversent tous les trous de fixation de toutes les parties hautes 187 pour la même ligne d'actionneurs 10. Les tiges de liaisons sont elles-mêmes rigidement fixées à leurs extrémités (non représentées).

Selon ce mode de réalisation de l'interface 100, on choisit le matériau constitutif des tiges de liaison 215, 217 de telle sorte que ce soit un matériau conducteur d'électricité. Ainsi, les moyens de déplacements 14, 16 sont chauffés directement par effet Joule.

#### Références citées

- [1] : US-6 242 841  
[2] : US-6 326 707  
[3] : W. Brenner, S. Mitic, A. Vujanic, G. Popovic,  
"Micro-actuation principles for high-resolution graphic tactile displays" Proceeding of Eurohaptics, 2001, P. 55-58.